ผลของการใช้วัสดุปรับปรุงดินร่วมกับเชื้อแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินภายใต้ทรงพุ่มมะรุม

Effect of Soil Amendments Combined with Phosphate Solubilizing Bacteria on Soil Chemical Properties under Moringa Canopy

จีราภรณ์ อินทสาร[1/*] ฉัตรปวีณ์ เดชจิรรัตนสิริ[1/] และ ประวิทย์ บุญมี[2/]

Jiraporn Inthasan[1/*], Chatprawee Dechjirarattanasiri[1/] and Pravit Boonmee[2/]

[1/]สาขาวิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

[1/]Division of Soil Resources and Environment, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

[2/]ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ ตำบลโป่งผา อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย 57130

[2/]Prince Chakraband Pensiri Center for Plant Development, Chiang Rai 57130, Thailand

**Corresponding author: Email: inthasan@mju.ac.th*

(Received: 14 March 2016; Accepted: 24 June 2016)

Abstract: On field trials were conducted in Moringa seeding area at Prince Chackraband Pensiri Center for Plant Development, Chiang Rai, during January-December 2014. Fifteen isolates of phosphate solubilizing bacteria were collected which the highest clear zone on Czapek medium at 1.25 cm of Isolate 14. The isolate 14 was chosen in medium for treatment with 1 x 10^8 CFU/ml using Randomized Complete Block Design (RCBD). The experiment consisted of 4 treatments; 1) control, 2) Dolomite (100 kg rai^{-1}), 3) Rock Phosphate (50 kg rai^{-1}) and 4) Rock Phosphate (50 kg rai^{-1}) plus Phosphate solubilizing bacteria (PSB-Isolate 14) with 4 replications. Results of the study showed that all soil amendment application provided higher soil reaction (pH) under moringa canopies than control treatment at 3 and 6 months after applied. Organic matter is ranging from 3.80 to 2.83% at 3 months after treated and 3.86 to 3.25 at 6 months after treated, on top and subsoil respectively but not significant among treatments. Rock phosphate combining with PSB-islolate 14 caused the highest extractable P on topsoil at 58 mgP kg^{-1} at 3 months after treated ($P<0.05$). The application of dolomite 100 kg rai^{-1} provided the highest value of extractable Ca 1,640 and 1,214 mgCa kg^{-1} at 3 and 6 months after treated respectively ($P<0.01$). On the other hand, extractable K, Mg and trace elements were not significant both in top and subsoil under moringa canopies at 3 and 6 months after treated.

Keywords: Soil amendment, phosphate solubilizing bacteria, moringa

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของการใช้วัสดุปรับปรุงดินร่วมกับเชื้อแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะรุม ในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์มะรุมของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม 2557 โดยพบเชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟอสเฟตทั้งหมด 15 ไอโซเลท ซึ่งเชื้อแบคทีเรียไอโซเลทที่ 14 มีความสามารถในการย่อยสลายฟอสเฟตโดยวัดความกว้างของวงใสในอาหารเลี้ยงเชื้อ สูงที่สุดคือ 1.25 เซนติเมตร จึงนำมาขยายเป็นเชื้อแบคทีเรียชนิดเหลวที่มีปริมาณเชื้อ 1 x 10^8 CFU/ml เพื่อนำมาวางแผนการทดลองแบบสุ่มลงในบล็อคอย่างสมบูรณ์ (RCBD) ประกอบด้วย 4 ตำรับทดลอง 4 ซ้ำ ดังนี้ 1) ตำรับควบคุม (control) 2) ตำรับที่ใส่ปูนโดโลไมท์ อัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ 3) ตำรับที่ใส่หินฟอตเฟต อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ และ 4) ตำรับที่ใส่หินฟอตเฟต อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฟอสเฟต พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของดินใต้ทรงพุ่มมะรุมหลังใส่ปูนโดโลไมท์ หินฟอสเฟต และการใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อแบคทีเรียย่อยสลายฟอสเฟต สูงกว่าตำรับควบคุมในเดือนที่ 3 และ 6 หลังใส่ตำรับทดลอง ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าเฉลี่ย 3.80 และ 2.83% ในเดือนที่ 3 และ 3.86 และ 3.25% ในเดือนที่ 6 หลังใส่ตำรับทดลองในดินระดับบนและดินระดับล่างตามลำดับแต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ปริมาณฟอสเฟตที่สกัดได้ใต้ทรงพุมมะรุมสูงที่สุดเมื่อมีใส่หินฟอตเฟต อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฟอสเฟต คือ 58 mg kg^{-1} ในดินระดับบน หลังจากใส่ตำรับทดลอง 3 เดือน ($P<0.05$) การใส่โดโลไมท์ อัตรา 100 กก/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้สูงที่สุดคือ 1,640 และ 1,214 mg kg^{-1} หลังใส่ตำรับทดลอง 3 และ 6 เดือน ตามลำดับ ($P<0.01$) ขณะที่ปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม และ ธาตุอาหารเสริมทุกตัวที่สกัดได้ในดินไม่มีความแต่ต่างในทางสถิติระหว่างตำรับทดลองในดินใต้ทรงพุ่มมะรุม ที่ระยะ 3 และ 6 เดือนหลังการใส่ตำรับทดลอง

คำสำคัญ: วัสดุปรับปรุงดิน แบคทีเรียย่อยสลายฟอสเฟต มะรุม

คำนำ

มะรุม (*Moringa oleifera* Lam.) เป็นพืชสมุนไพรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ ตำบลโป่งผา อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย ทำการผลิตเมล็ดพันธุ์มะรุมให้เกษตรกรที่สนใจ นำไปสร้างรายได้ หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับสมุนไพรในท้องตลาด โดยจะพบว่ามะรุมมีคุณสมบัติที่ดีในการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้หลายส่วน เช่นผลมะรุมที่นิยมนำมารับประทานเป็นอาหาร ใบมะรุมนำมาสกัดทำยาสมุนไพร เมล็ดสกัดทำน้ำมันเพื่อรับประทานหรือประกอบอาหาร รวมถึงใช้ในด้านความสวยความงาม นอกจากนี้ใบและฝักมะรุม ยังมีองค์ประกอบของสารที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารที่ออกฤทธิ์ช่วยลดความดัน ต้านแบคทีเรียและรา และต้านการอักเสบ (เรืองศรี, 2554; รัตติยา และ ศศิวิมล, 2552; แพรวดี, 2554) ซึ่งการเพาะปลูกมะรุมนั้นสามารถปลูกด้วยการเพาะเมล็ด หรือ การปักชำ เกษตรกรสามารถเก็บใบและฝักมะรุมเมื่อมีอายุตั้งแต่ 1 ปีขึ้นไป (อภิชาติ, 2553) อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ในพื้นที่ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงรายนั้น เนื่องจากมีสภาพดินที่เป็นกรดจัดค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ย 4.5-5.0 และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ทำให้ผลผลิตของเมล็ดพันธุ์ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกมะรุมนั้นอยู่ในช่วง 5.5-8.0 (Kokou, *et al*., 2001) การปรับปรุงดินกรดนั้นสามารถใช้วัสดุปรับปรุงดินได้หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นปูนขาว ปูนโดโลไมท์ ปูนมาลท์ หรือ หินฟอสเฟต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ปิยะ, 2553; ยงยุทธ์ และคณะ, 2551) สภาวะที่ดินเป็นกรดจัดจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ธาตุอาหารหลักหลายตัวเกิดความไม่สมดุลและไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะ ฟอสฟอรัส จะเห็นได้ว่าในดินกรดจัดนั้นจะเพิ่มการตรึงฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินและลดการละลายฟอสเฟตซึ่งเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ให้น้อยลง รักษาระดับ pH ของดินให้อยู่ในช่วง 6-7 โดยการใส่วัสดุ

ปรับปรุงดินประเภทปูน หินฟอสเฟต หรือการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตแบบโรยปุ๋ยเป็นแถวและรองก้นหลุม และการใช้เชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต จึงเป็นวิธีการที่ถูกนำมาปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดิน (จีราภรณ์, 2557; ธงชัย, 2550) โดยจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตได้มีหลายชนิดทั้งที่เป็นแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซิส (Illmer *et al*., 1995) จุลินทรีย์เหล่านี้กระจายอยู่ทั่วไปในดิน แต่พบมากในดินบริเวณรากพืช จากงานวิจัยที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตพบว่าเชื้อรามีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตสูงกว่าเชื้อแบคทีเรียและแอคติโนมัยซิส เช่น *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigates* และ *Penicillium* sp. เป็นต้น (Kucey, 1983; Illmer and Schinner, 1992; Illmer *et al*., 1995; Oliveira *et al*., 2009) ซึ่งมีการรายงานว่าจุลินทรีย์กลุ่มนี้ยังสามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารอื่น ๆ ในดินได้และยังมีส่วนในการควบคุมโรคในพืชเช่น *Bacillus megaterium* ที่สามารถควบคุมโรคกาบใบแห้งของข้าวพันธุ์ กข6 ที่มีเชื้อรา *Rhizoctonia solani* เป็นเชื้อสาเหตุอีกด้วย (Nibha *et al*., 2007; ปิลันธนา และศราวิชญ์, 2558) ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะรุมด้วยวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับเชื้อแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายฟอสเฟต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตของเมล็ดพันธุ์มะรุมได้

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาผลของการใช้วัสดุปรับปรุงดินร่วมกับเชื้อแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มมะรุม นั้นได้ทำการทดสอบในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์มะรุมของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงราย ระยะเวลาในการศึกษา 1 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2557 โดยทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบรากมะรุมเพื่อทำการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยฟอสฟอรัสมาทดสอบร่วมกับการเติมวัสดุปรับปรุงดินในแปลงมะรุมเพื่อลดความเป็นกรด-ด่าง และนำตัวอย่างดินวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ณ อาคารปฏิบัติการทางดินและปุ๋ยขั้นสูง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ก่อนการวางตำรับทดลอง

การคัดแยกและทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟตจากดิน ในอาหารเลี้ยงเชื้อ

ทำการคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียจากดินบริเวณรอบรากมะรุมภายในบริเวณแปลงของศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ จังหวัดเชียงราย โดยทำการคัดแยกแบคทีเรียบนอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อให้ได้เชื้อแบคทีเรียที่มีความบริสุทธิ์ จากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวมาทดสอบประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Czapek medium ตามวิธีของ Atlas (1993) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตบนอาหารแข็งโดยค่า Solubilization Index (SI) ซึ่งวัดรัศมีของบริเวณวงใส (clear zone) และรัศมีของโคโลนี เพื่อนำมาคานวณหาค่า SI ตามวิธีการของ Collavino *et al*. (2010) ดังสูตรต่อไปนี้

$$SI = \frac{\text{(Colony diameter + Halozone diameter)}}{\text{Colony diameter}}$$

คัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดมาผลิตเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ ในรูปแบบหัวเชื้อเหลวเข้มข้นด้วยอาหารเหลว Nutrient Broth โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ 1 x10^8 CFU/ml

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟต ในแปลงมะรุม

การวางแผนทดลองแบบสุ่มลงในบล็อคอย่างสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยสิ่งทดลอง 4 ตำรับดังนี้

1. ตำรับควบคุม (control)
2. ตำรับที่ใส่ปูนโดโลไมท์ อัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่
3. ตำรับที่ใส่หินฟอตเฟต อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่
4. ตำรับที่ใส่หินฟอตเฟต อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฟอสเฟตที่มีปริมาณ

จุลินทรีย์ 1 x10^8 CFU/ml จำนวน 50 ml ใส่ใต้ทรงพุ่มมะรุมระยะ 1 ตารางเมตร

การเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ดินทางเคมี

เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังปลูก ในพื้นที่แปลงมะรุม ที่ต้นมะรุมมีอายุ 5-8 ปี ที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างดินแบบรวม (composite sample) โดยการเก็บตัวอย่างจะสุ่มเก็บรอบทรงพุ่มมะรุม 4 จุดต่อ 1 ต้น ภายใต้พื้นที่บริเวณรอบรากมะรุม 1 ตารางเมตร และทำให้แห้งโดยตากไว้ในที่ร่ม (air-dried) นำไปบด และผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2.0 มิลลิเมตร เพื่อนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีของดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ใช้ดิน 10 กรัมต่อน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร (1:1) วัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้เครื่องมือ pH-meter (Wayne, 1980), ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) นำมาวิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black (1947) และ FAO (2008) ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (extractable phosphorous) โดยวิธี BrayII ตามวิธีการของ Watanabe and Olsen (1962) และ FAO (2008) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (extractable potassium, calcium, magnesium) สกัดด้วย NH_4OAc pH 7.0 (Wayne, 1980) และ ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ด้วยน้ำยาสกัด DTPA-Diethylene Triamine Penta Acetic acid (Wayne, 1980) อ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มลงในบล็อคอย่างสมบูรณ์ (RCBD) เมื่อพบความแตกต่างกันในทางสถิติจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธีจัดกลุ่มของสิ่งทดลอง (Least Significant Difference-LSD)

ผลการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟต ในอาหารเลี้ยงเชื้อ

ผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟต ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบของอาหาร พบแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟต ทั้งหมด 15 Isolates โดย Isolate 14 มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตดีที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของค่า Solubilization Index (SI) สูงที่สุดคือ 2.50 ใกล้เคียงกับเชื้อ Isolate 10 ที่มีค่า SI เท่ากับ 2.30 และยังพบเชื้อแบคทีเรีย Isolate 5, 4, 7 และ 6 ที่มีประสิทธิภาพละลายฟอสเฟต อยู่ในระดับสูงโดยมี ค่า SI เท่ากับ 2.10, 1.94, 1.90 และ 1.80 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จึงทำการคัดเลือกเชื้อแบคทีเรีย Isolate 14 ไปทดสอบกับการจัดการดินในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยหินฟอสเฟตในแปลงมะรุม

คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลอง

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินก่อน พบว่าดินที่สองระดับความลึก คือ 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.10-5.28 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินระดับบนมีค่าอยู่ที่ 3.51% และ 2.93% ในดินระดับล่าง ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 20 mgP kg^{-1} และ 11 mgP kg^{-1} ในดินระดับบนและล่างตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ที่ 183 mgK kg^{-1} ในดินบนและ 130 mgK kg^{-1} ในดินล่าง ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินบนมีค่าอยู่ที่ 1,087 mgCa kg^{-1} และ 913 mgCa kg^{-1} ในดินล่าง ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 86 mgMg kg^{-1} สำหรับปริมาณธาตุอาหารเสริมในดินก่อนการทดลองพบว่ามีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินอยู่ที่ 116 และ 102 mgMn kg^{-1} ในดินระดับบนและดินระดับล่างตามลำดับ ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินระดับบนมีค่าอยู่ที่ 90 mgFe kg^{-1} ส่วนปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.7 mgCu kg^{-1} ขณะที่ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.8 mgZn kg^{-1} (ตารางที่ 2)

Table 1 Solubilization Index (SI) of the selected PSB strains during 7 days of incubation

Isolate Number	Solubilization Index (SI)
Isolate 1	0.20
Isolate 2	0.44
Isolate 3	0.70
Isolate 4	1.94
Isolate 5	2.10
Isolate 6	1.80
Isolate 7	1.90
Isolate 8	0.70
Isolate 9	0.58
Isolate 10	2.30
Isolate 11	1.70
Isolate 12	1.30
Isolate 13	0.40
Isolate 14	2.50
Isolate 15	0.50

Table 2 Soil properties before applied

soil depth	pH	OM	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
		(%)	----------(mg kg^{-1})----------							
0-15 cm	5.10	3.51	20	183	1,087	87	116	90	3.7	0.9
15-30 cm	5.28	2.93	11	130	913	85	102	87	3.6	0.8
Mean	5.19	3.22	16	156	1,000	86	109	88	3.7	0.8

คุณสมบัติของดินหลังการทดลอง

คุณสมบัติทางเคมีของดินหลังการจัดการด้วยวัสดุปรับปรุงดินและเชื้อแบคทีเรียละลายฟอสเฟต 3 เดือน ใต้ทรงพุ่มมะรุมของดินระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นั้นพบว่ามีเพียงปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมที่สกัดได้ในดินมีความแตกต่างในทางสถิติ ขณะที่ดินระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร คุณสมบัติทางเคมีดินไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ โดยค่าความ เป็นกรด-ด่าง และปริมาณอินทรียวัตถุในดินทั้งสองระดับไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติระหว่างตำรับทดลองอย่างใด โดยพบว่าตำรับที่ใส่โดโลไมท์ส่งผลให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุดคือ 5.78 ในดินระดับบน และ 5.53 ในดินระดับล่าง ขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุพบว่าตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟต มีค่าสูงที่สุด คือ 4.09% ในดินระดับบน และ 3.29% ในดินระดับล่าง สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสในดินระดับพบว่า ตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 58 mgP kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) ขณะที่การใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพียง 30 mgP kg^{-1} ตำรับควบคุม ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 23 mgP kg^{-1} แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับตำรับที่ใส่การใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว และการใส่ปูนโดโลไมท์ สำหรับดินระดับล่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

กับดินระดับบนคือตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด ซึ่งพบปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้อยู่ที่ 24 mgP kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพียง 23 mgP kg^{-1} การใส่ปูนโดโลไมท์ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 15 mgP kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินระดับบนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 289 mgK kg^{-1} โดยไม่มีมีความแตกต่างระหว่างตำรับทดลองของดินทั้งสองระดับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน พบว่าตำรับที่ใส่ปูนโดโลไมท์ส่งผลให้มีค่าสูงที่สุดคือ 1,640 mgCa kg^{-1} ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ($P>0.05$) ยกเว้นตำรับควบคุมซึ่งมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 965 mgCa kg^{-1} ขณะที่ดินระดับล่างมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 962 mgCa kg^{-1} โดยทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินทั้งสองระดับพบว่าตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 159 mgMg kg^{-1} ในดินระดับบน และ 119 mgMg kg^{-1} ในดินระดับล่าง ตามลำดับ ซึ่งทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ

ปริมาณธาตุอาหารเสริมหลังใส่ตำรับ 3 เดือน พบว่าทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ โดยปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินระดับบนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 105 mgMn kg^{-1} และในดินระดับล่าง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 94 mgMn kg^{-1} ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 73 และ 75 mgFe kg^{-1} ในดินระดับบน และดินระดับล่างตามลำดับ ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินทั้งสองระดับมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.17 และ 4.06 mgCu kg^{-1} ในดินระดับบนและ ในดินระดับล่าง ตามลำดับซึ่งไม่มีความแตกต่างระหว่างตำรับทดลอง ส่วนปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินหลังใส่ตำรับ 3 เดือนพบว่าตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดทั้งสองระดับความลึกคือ 0.98 mgZn kg^{-1} ในดินระดับบนและ 1.09 mgZn kg^{-1} ในดินระดับล่าง ขณะที่การใส่ปูนโดโลไมท์หรือ หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวส่งผลให้มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินน้อยกว่าการใส่ร่วมกับจุลินทรีย์ แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ส่วนตำรับควบคุมพบปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุด ทั้งสองระดับความลึกคือ 0.74 mgZn kg^{-1} ในดินระดับบน และ 0.71 mgZn kg^{-1} ในดินระดับล่าง (ตารางที่ 3)

คุณสมบัติทางเคมีของดินหลังทำการทดลองหลังใส่เชื้อจุลินทรีย์ 6 เดือน

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินหลังใส่ตำรับทดลอง 6 เดือน พบว่ามีเพียงปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินระดับ 0-15 เซนติเมตรเท่านั้นที่มีความแตกต่างในทางสถิติ โดยตำรับที่ใส่ปูนโดโลไมท์ส่งผลให้ มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 1,214 mgCa kg^{-1} ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลอง ($P<0.05$) ยกเว้นตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตอัตรา 50 กก/ไร่ (1,136 mgCa kg^{-1}) ขณะที่ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดพบในตำรับควบคุมคือ 711 mgCa kg^{-1} สำหรับดินระดับล่างมี ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 463 mgCa kg^{-1} ตำรับที่ควบคุมมีปริมาณแคลเซียม ที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 434 mgCa kg^{-1} ขณะที่การใส่โดโลไมท์ส่งผลให้ ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 505 mgCa kg^{-1} แต่ทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินใต้ทรงพุ่มมะรุมที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 5.08-5.78 โดยพบว่าทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุไม่มีความแต่งแตกในทางสถิติระหว่างตำรับทดลองในดินทั้งสองระดับโดยอินทรียวัตถุมีค่าอยู่ในช่วง 2.85-4.20% (0-30 เซนติเมตร) นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินทั้งสองระดับไม่มีความแตกต่างในทางสถิติเช่นกัน สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินระดับดินบน พบว่าตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 20 mgP kg^{-1} ขณะที่การใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพียง 19 mgP kg^{-1} ตำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 13 mgP kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับทดลองไม่มีความ

Table 3 Soil properties under moringa canopies after applied soil amendment and phosphate solubilizing bacteria at 3 months

Treatment	pH	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
			---------- mg kg^{-1} ----------							
Top soil 0-15 cm										
Control	5.52	3.84	23b	250	965b	137	111	67	4.43	0.74
Dolomite	5.78	3.50	25b	288	1,640a	157	98	75	3.91	0.95
Rock P	5.59	3.77	30b	316	1,533a	130	105	77	4.21	0.89
Rock P+ PSB	5.73	4.09	58a	303	1,403ab	159	106	75	4.12	0.98
Grand Mean	5.65	3.80	34	289	1,385	146	105	73	4.17	0.89
F-test	ns	ns	*	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
CV	4.36	11.30	34.84	22.88	21.67	14.52	14.77	11.06	8.48	13.89
Sub soil 15-30 cm										
Control	5.29	2.27	17	179	895	117	103	69	4.43	0.71
Dolomite	5.53	2.67	15	180	1,017	118	78	77	3.35	0.91
Rock P	5.42	3.10	23	168	964	116	93	81	4.20	0.91
Rock P+ PSB	5.30	3.29	24	175	970	119	104	75	4.25	1.09
Grand Mean	5.39	2.83	20	175	962	118	94	75	4.06	0.91
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV	4.90	25.71	27.22	10.91	18.10	7.23	23.50	13.15	19.99	7.37

Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD **=0.01, *=0.05 and ns= Nonsignificant

แตกต่างในทางสถิติ สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินระดับล่างก็ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติเช่นเดียวกับดินระดับบนโดยตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด ซึ่งพบปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้อยู่ที่ 17 mgP kg^{-1} ส่วนตำรับที่ใส่หินฟอสเฟต เพียงอย่างเดียวส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดินเพียง 15 mgP kg^{-1} ตำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัส ที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดคือ 8 mgP kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินระดับบนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 128 mgK kg^{-1} ตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ส่งผลให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดคือ 128 mgK kg^{-1} และตำรับที่ใส่ปูนโดโลไมท์พบปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ต่ำที่สุดคือ 112 mgK kg^{-1} ขณะที่ในดินระดับล่าง มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่ที่ 69 mgK kg^{-1} การใส่ปูนโดโลไมท์ ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินล่างสูงที่สุดคือ 74 mgK kg^{-1} ขณะที่การใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดอยู่ที่ 61 mgK kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินระดับบนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 67 mgMg kg^{-1} ขณะที่ดินระดับล่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 54 mgMg kg^{-1} ซึ่งทุกตำรับทดลอง ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ

ปริมาณธาตุอาหารเสริมที่สกัดได้ในดิน พบว่าปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน ระดับบนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 72 mgMn kg^{-1} ตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน สูงที่สุดคือ 76 mgMn kg^{-1} ทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดิน ระดับบนและดินระดับล่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 122 และ 169 mgFe kg^{-1} ปริมาณทองแดงที่

สกัดได้ในดินทั้งสองระดับ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ตำรับที่ใส่หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดในดินทั้งสองระดับมีค่าอยู่ที่ 4.23 mgCu kg^{-1} ในดินระดับบน และ 4.36 mgCu kg^{-1} ในดินระดับล่าง ส่วนตำรับที่ใส่ปูนโดโลไมท์มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุด ทั้งสองระดับความลึกคือ 3.63 mgCu kg^{-1} ในดินระดับบน และ 3.04 mgCu kg^{-1} ในดินระดับล่าง ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินหลังใส่ตำรับ 6 เดือนพบว่าตำรับที่ใส่ปูนโดโลไมท์มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดทั้งสองระดับความลึกคือ 2.60 mgZn kg^{-1} ในดินระดับบน และ 1.20 mgZn kg^{-1} ในดินระดับล่าง ส่วนตำรับควบคุมพบปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดทั้งสองระดับความลึกคือ 1.52 mgZn kg^{-1} ในดินระดับบน และ 0.65 mgZn kg^{-1} ในดินระดับล่าง (ตารางที่ 4)

Table 4 Soil properties under moringa canopies after applied soil amendment and phosphate solubilizing bacteria at 6 months

Treatment	pH	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
			mg kg^{-1}							
Top soil 0-15 cm										
Control	5.45	3.78	13	130	711c	68	74	108	4.15	1.52
Dolomite	5.78	3.50	18	112	1,214a	71	62	92	3.63	2.60
Rock P	5.70	3.98	19	127	1,136ab	68	76	133	4.05	2.18
Rock P+PSB	5.75	4.20	20	142	864bc	61	75	156	4.23	2.13
Grand Mean	5.67	3.86	17.4	128	981	67	72	122	4.01	2.10
F-test	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
CV	4.71	8.20	23.19	20.17	14.04	17.34	14.06	15.89	11.35	39.17
Sub soil 15-30 cm										
Control	5.08	3.33	8	72	434	55	68	106	4.36	0.65
Dolomite	5.43	2.85	12	74	457	54	48	97	3.04	1.20
Rock P	5.25	3.28	15	68	505	55	70	116	4.20	0.81
Rock P+PSB	5.33	3.55	17	61	457	53	79	169	4.63	0.86
Grand Mean	5.27	3.25	13.1	69	463	54	66	122	4.05	0.88
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV	5.20	17.07	35.93	12.08	15.02	9.78	21.74	25.54	22.22	27.03

Mean in the same column followed by different letters were different significantly by LSD **=0.01, *=0.05 and ns= Nonsignificant

การทดลองและวิจารณ์

การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียทีมีความสามารถในการละลายฟอสเฟตในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์มะรุม จากศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ ตำบลโป่งผา อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย นั้นพบเชื้อแบคทีเรียที่มีความสามารถย่อยฟอสเฟต ทั้งหมด 15 ไอโซเลท โดยไอโซเลทที่ 14 มีค่าความสามารถในการละลายฟอสเฟตดีที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิของค่า Solubilization Index (SI) สูงที่สุดคือ 2.50 ซึ่งการเกิดวงใสในอาหารนั้นมักจะผันแปรตามสภาพแวดล้อมและแหล่งที่มาของจุลินทรีย์ (สมพร, 2549; Ashara *et al*., 2007; Chung *et al*., 2005) จากผลการทดลองพบว่าดินที่ใช้ในการปลูกมะรุมค่อนข้างมีความเป็นกรดจัดซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5.50 พบว่าการจัดการดินโดยการเติมวัสดุปูน 2 ชนิด คือ โดโลไมท์ และหินฟอสเฟตมีพบทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างทั้งดินระดับบนและดินระดับล่างเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตำรับควบคุมหลังจากใส่วัสดุดังกล่าวหลังจาก 3 เดือนและ 6 เดือน โดยเห็นผลชัดเจนเฉพาะดินระดับบน (0-15 เซนติเมตร) สอดคล้องกับงานทดลองของ Chen *et al*. (2006) ซึ่งทำการใช้ปูนโดโลไมท์ และ หินฟอสเฟตมาปรับปรุงดินกรด และลดการชะล้างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินทราย หลังจากบ่มวัสดุปรับปรุงดินที่อัตราต่าง ๆ ดังกล่าว 2 และ 4 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่หินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยฟอสเฟตมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นเล็กน้อยในระยะ 3 เดือน แต่กลับลดลงในช่วงระยะ 6 เดือนหลังจากใส่ตำรับดังกล่าว ซึ่งความเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างครั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณรอบรากมะรุมสูงกว่าตำรับอื่น ๆ แต่ไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีด้านอื่น ๆ เช่น ปริมาณอินทรียวัตถุที่พบว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุทั้งในดินระดับบนและดินระดับล่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการทดลองดังกล่าวมีผลไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของ Srivastana *et al*. (2003) ที่พบว่า แบคทีเรียกลุ่ม phosphate solubilizing จะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังการบ่มเชื้อในดิน 24 ชั่วโมง แต่กลับเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมงในดินที่เติมหินฟอสเฟสของชุดดิน Alfisols ซึ่งมีความเป็นกรดและมีองค์ประกอบของ FeP ในระดับที่สูง อย่างไรก็ตามกลับพบความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 3 เดือนแรกที่การใช้หินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญในดินระดับบน สอดคล้องกับงานของ Richa (2003) พบว่าการใช้หินฟอตเฟสร่วมกับจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายฟอตเฟสทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินสูงขึ้น ขณะที่ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มสูงขึ้นในช่วงระยะ 3 เดือนหลังใส่ตำรับทดลอง และลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปในรอบ 6 เดือน ทั้งนี้อาจเป็นผลของการชะล้างของประจุบวกทั้ง 3 ตัวในช่วงฤดูฝนทำให้ปริมาณดังกล่าวลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ทั้งนี้กลับพบว่าการใช้วัสดุปรับปรุงดิน โดยเฉพาะโดโลไมท์และหินฟอสเฟตมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ของดินระดับบนสูงกว่าตำรับควบคุมอย่างเห็นได้ชัด สำหรับปริมาณธาตุอาหารเสริมทั้ง 4 ธาตุ คือ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง และสังกะสี มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระยะ 3 เดือนหลังการใส่ตำรับทดลอง พบเพียงปริมาณแมงกานีสที่ลดลงในเดือนที่ 6 เหลือเพียง 72 และ 66 mgMn kg^{-1} ขณะที่ปริมาณสังกะสีกลับเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.9 และ 0.8 เป็น 2.10 และ 0.88 mgZn kg^{-1} ในดินระดับบนและล่างตามลำดับ โดยจะพบว่าการใส่วัสดุปูนทุกประเภททำให้ปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ จิติมา (2542) และศิริพร (2543) ที่ได้นำวัสดุปูนโดโลไมท์มาใช้กับการเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลืองและถั่วลิสงในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำปาง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างหลังจากการใส่โดโลไมท์เพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินหลังการเพาะปลูกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้จีราภรณ์และคณะ (2556) ได้ทดสอบนำจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยฟอสเฟตไปปรับปรุงคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มลำไยอินทรีย์ พบว่าการใส่หินฟอสเฟตในอัตรา 30 กก./ไร่ และการใช้หินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยหินฟอสเฟตมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้นจากตำรับควบคุม

รวมทั้งความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสของดินหลังการเก็บเกี่ยวลำไยอินทรีย์ดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ขณะที่สุภาพรและคณะ (2553) พบว่าการใช้หินฟอสเฟตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟตมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูงกว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์ย่อยฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับรายงานของ Illmer and Schinner (1992) ที่พบว่า แบคทีเรียละลายฟอสเฟตมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรฟอสฟอรัส และ การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารเสริม เพราะมีการปลดปล่อยเอนไซม์ ฟอสฟาเทส และสร้าง humic substance ทั้งในดินกรดและดินด่าง นั่นแสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อแบคทีเรียย่อยสลายฟอสเฟสร่วมกับหินฟอสเฟตมีผลทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินและธาตุอาหารเสริมสูงขึ้นได้

สรุป

การใช้วัสดุปรับปรุงดิน ในรูปปูนโดโลไมท์ และหินฟอสเฟตมีแนวโน้มทำให้ค่าความเป็นกรดด่างสูงขึ้น ขณะที่การใช้หินฟอสเฟตร่วมกับแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินเพิ่มสูงกว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะในดินระดับบน (0-15 เซนติเมตร) ที่พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุดหลังการใส่ตำรับทดลอง 3 เดือน คือ 58 mgP kg^{-1} ขณะที่ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินระดับบนหลังจากการใส่วัสดุปรับปรุงดินและการใช้เชื้อแบคที่เรียที่ย่อยละลายฟอสเฟตทำให้ปริมาณแคลเซียมสูงกว่าตำรับควบคุม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ ตำบลโป่งผา อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย และมูลนิธิชัยพัฒนา ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณวิจัย

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 547 หน้า.

จิตติมา กาบเย็น. 2542. การตอบสนองของถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ที่มีต่อการใช้ปุ๋ย NPK ยิปซัม โดโลไมท์ และเถ้าลอยลิกไนต์ในชุดดินห้างฉัตร(Hc). ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์, คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จีราภรณ์ อินทสาร. 2557. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 288 หน้า.

จีราภรณ์ อินทสาร ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร และจักรพงษ์ ไชยวงศ์. 2556. การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์สามารถละลายฟอสเฟตได้ภายใต้การผลิตลำไยอินทรีย์ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน. รายงานผลการวิจัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 58 หน้า.

ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 300 หน้า.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2553. สารปรับปรุงดิน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 256 หน้า.

ปิลันธนา ฐาปนพงษ์วรกุล และ ศราวิชญ์ สายมงคล. 2558. ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ Bacillus megaterium สายพันธุ์ No.16 ในการควบคุมโรคกาบใบแห้งของข้าวพันธุ์ กข6. วารสารเกษตร 31(3): 301-310.

แพรวดี. 2554. สมุนไพรไทยนพเก้า. สำนักพิมพ์ไพลิน, กรุงเทพฯ. 112 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 519 หน้า.

รัตติยา มากทรัพย และ ศศิวิมล วิชัยรัมย์. 2552. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของมะรุม. กรุงเทพฯ: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

เรืองศรี อิสสระ. 2554 .การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางเวชสำอางของสารสกัดจากใบและฝักมะรุม. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยข่อนแก่น. 78 หน้า.

ศิริพร เตชะเทพ. 2543. การเผาตอซังข้าวและการใช้โดโลไมท์กับยิปซัมที่มีผลต่อผลผลิตของถั่วเหลือง. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุภาพร จันรุ่งเรือง เบญจมาส รสโสภา และ กรรณิการ์ สัจจาพันธ์. 2553. ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต Burkholderia sp. สายพันธุ์ Rs01 ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2. วิทยาสารกำแพงแสน ปีที่ 8 ฉบับที่ 1.

สมพร ชุนห์ลือชานนท์. 2549. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์-ชีวภาพเพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืช. สำนักงานกองทุนศึกษาสนับสนุนงานวิจัย (สกว.). 152 หน้า.

อภิชาต ศรีสอาด. 2553. คู่มือการเพาะปลูก แปรรูป และผลิตภัณฑ์ มะรุม ครบวงจร.กรุงเทพฯ. 112 หน้า.

Ashara, P., H. Yasuyuki, O. Jumpem, G. Sayjai, S.O. Manoon, S. Takuro, W. Toshihoro and O. Mitsuru. 2007. Screening of phosphate-solubilizing microorganisms in rhizosphere and rhizoplane of adverse soil-adapting plants in Southern Thailand. TROPICS, Japan 16(1): 1-7.

Atlas, R.M. 1993. Handbook of microbiological Media. The United States of America. 1079 p.

Collavino, M.M., P.A. Sansberro, L.A. Mroginski and O.M. Aguilar. 2010. Comparison of in vitro solubilization activity of diverse phosphate-solubilizing bacteria native to acid soil and their ability to promote Phaseolus vulgaris growth. Biology and Fertility of Soils 46: 727-738.

Chen, G.C., Z.L. He, P.J. Stoffella, X.E. Yang, S. Yu and D. Calvert. 2006. Use of dolomite phosphate rock (DPR) fertilizers to reduce phosphorus leaching from sandy soil. Environmental Pollution: 139(1): 176-182.

Chung, H.M., M. Park, M. Madhaiyan, S. Seshadri, J. Song, H. Cho. and T. Sa. 2005. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of crop plants of Korea. Soil Biology and Biochemistry 37: 1970-1974.

FAO. 2008. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin. Rome, Italy: FAO. 220 p.

Illmer, P. and F. Schinner. 1992 Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolate from forest soil. Soil Biology and Biochemistry 24: 389-395.

Illmer P., A. Barbato and F. Schinner. 1995. Solubilization of hardly-soluble $AlPO_4$ with P-solubilizing microorganism. Soil Biology and Biochemistry 27: 265-270.

Kokou, K., T. Joet, M. Broin and A. Aidam. 2001. Research on Moringa oleifera Lam. cultivation in Togo. Cahiers Agricultures 2: 131-133.

Kucey, R.M.N. 1983. Phosphate-solobilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta Soil. Canadian Journal of Soil Science 63: 671-678.

Nibha, G., S. Jyotasanmayee, P. Reena And K. Dipika. 2007. Solubilization of tricalcium phosphate and rock phosphate by microbes isolated from chromite, iron and manganese mines. Acta Botanica Croatica 66(2): 197-204.

Richa, G. 2003. Rock Phpsphate and Phpsphate solubilizing microbes as a source of

nutrients for crop. Master dissertation. Thapar University. 51 p.

Oliveira, C.A., V.M.C. Alves, I.E. Marriel, E.A. Gomes, M.R. Scotti, N.P. Carneiro, C.T. Guimaràes, R.E. Schaffert and N.M.H. Sà. 2009. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. Soil Biology and Biochemistry 41: 1782-1787.

Srivastava, S., M.T. Kausalya, G. Archana, O.P. Rupela and G. Naresh-Kumar. 2003. Efficacy of organic acid secreting bacteria in solubilization of rock phosphate in acidic alfisols. In First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization, 16-19 July, 2002, E. Velázquez and C. Rodríguez-Barrueco, Eds., pp. 117-124.

Walkley, A. and I.A. Black, 1947. Chromic acid Titration Method for Determination of Soil Organic Matter. Soil Science Society of America Journal 63: 257.

Watanabe, F.S. and S.R. Olsen. 1962. Calorimetric Determination of Phosphorus in Water Extracts of Soil. Soil Science 93: 183-188.

Wayne E.S. 1980. Handbook on Reference Methods for Soil Testing. Council on soil testing and plant Analysis Ed. Athens: University of Georgia. 130 p.